

CFRPのエンドミル加工：DLC-コーティング工具による傾斜切削

著者	廣瀬 直也, 細川 晃, 上田 隆司, 古本 達明, 小谷 野 智広
雑誌名	精密工学会学術講演会講演論文集 = JSPE Conference
巻	2014A
号	D32
ページ	205-206
発行年	2014-01-01
URL	http://hdl.handle.net/2297/45543

CFRPのエンドミル加工 —DLCコーティング工具による傾斜切削—

金沢大学大学院 ○廣瀬直也 金沢大学 細川 晃, 古本達明, 小谷野智広, 名古屋大学 上田隆司

End milling of CFRP
—Inclination milling with DLC-coated end mills—

Kanazawa University Naoya HIROSE, Akira HOSOKAWA, Tatsuaki FURUMOTO, Tomohiro KOYANO
Nagoya University Takashi UEDA

Side milling tests of CFRP (Carbon Fiber Reinforced Plastics) without coolant are carried out by DLC and Diamond (DIA) coated carbide end mills having different helix angles 30° and 60° . The film thicknesses of DLC are $0.1\mu\text{m}$ and $0.5\mu\text{m}$, and $10\mu\text{m}$ for DIA, respectively. The surface integrity including fluffing, delamination and pull-out of the carbon fiber. The cutting force and tool wear with respect to the fiber orientation are also examined. The DLC coated end mills have lower resultant angle than the DIA coated one which facilitates the inclination milling to reduce fluffing.

1. 緒言

CFRP(Carbon Fiber Reinforced Plastic)は軽量で高強度という優れた特性を持つ複合材料であり、近年航空分野をはじめとする多くの産業分野において利用が拡大している。CFRPのエンドミル加工においては、高強度な炭素繊維による工具摩耗の著しい進行や、繊維の毛羽立ちや脱落による加工面性状の悪化等が問題となる。筆者らはこれまで強ねじれエンドミルを用いた傾斜切削法を提案し、通常の側面加工に比べて毛羽立ちや繊維の抜け落ちがない良好な加工面が得られることを示した¹⁾²⁾。

本研究では膜厚の異なるDLCコーティングと、ダイヤモンド(以下、DIA)コーティングを施したエンドミルを導入して切削実験を行い、コーティング膜種が工具の耐摩耗性能や加工面性状に及ぼす影響を調査するとともに、強ねじれエンドミルによる傾斜切削法の有効性について再検討している。

2. CFRPの積層構造

本実験では熱硬化性樹脂であるエポキシ樹脂を炭素繊維に浸透・硬化させた一般的な航空機用CFRPを使用する。図1にその積層構成を示す。本研究では切削方向(送り方向)と炭素繊維が成す角度を繊維角 θ と定義する。使用したCFRPは積層毎に繊維角を 45° ずつ変化させた擬似等方材料で、第4, 5層を中心として上下対称の構造となっている。試料の切削方向長さは30 mm, 厚みは1.5 mmである。

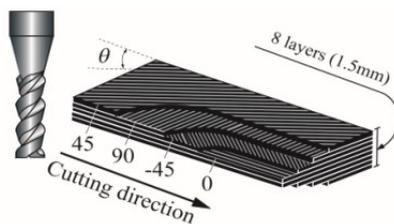


Fig.1 Structure of CFRP

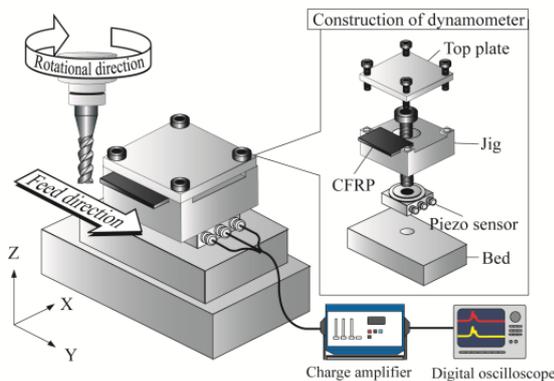


Fig.3 Experimental arrangement

3. 実験装置および実験方法

本研究では超硬2枚刃エンドミルにDIAとDLCをそれぞれコーティングしたものを使用する。図2に示すように、工具形状は汎用のねじれ角 $\beta=30^\circ$ と強ねじれの $\beta=60^\circ$ である。工具に施したコーティングの膜厚 t はDIAコーティングが $10\mu\text{m}$ 、DLCコーティングは $0.1\mu\text{m}$ と $0.5\mu\text{m}$ の2種類である。図3に実験装置の概略図を示す。実験はCFRP板材の側面切削を行い、切削抵抗、3次元粗さ、SEM画像より加工特性を総合的に評価した。

切削抵抗の測定には圧電式3分力センサ(KISTLER 9251A)を組み込んだ動力計を使用した。図3に示すように、試料は板材で挟み込む2面拘束とし、突き出し長さを極力小さくして振動の影響を排除している。なお、動力計の応答速度は4 kHzで、切削速度100 m/min程度まで正確に切削抵抗を測定できる。表1に実験条件を示す。

4. 実験結果および考察

4.1 切削抵抗

切削回数と切削抵抗の関係を図4に示す。まずねじれ角の影響をみると、いずれの工具においても $\beta=30^\circ$ と比較して $\beta=60^\circ$ では切削抵抗値が減少し、切削回数に伴う切削抵抗の増加も抑制されていることがわかる。これは強ねじれによって実質刃先角が減少し、工作物へのくい付きが向上したためである。次にDLCコートエンドミルにおける膜厚の影響をみると、 $\beta=30^\circ$ 、 $\beta=60^\circ$ とも膜厚によらず類似した切削抵抗が得られており、膜厚による切削性や耐摩耗性への影響は小さいと考えられる。

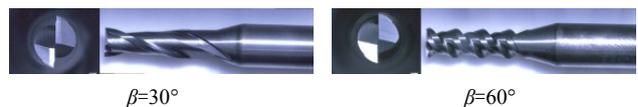


Fig.2 Two types of end mills

Table 1 Experimental conditions

Cutting tool	DLC-AIP coated endmill	DIA coated endmill	
Coating thickness t	[μm]	0.1, 0.5	10
Tool diameter	[mm]	4	
Helix angle β	[$^\circ$]	30, 60	
Work		T800S/3900-2B	
Cutting speed v	[m/min]	25	
Feed rate f	[mm/tooth]	0.025	
Radial depth of cut a	[mm]	0.25	
Number of cuttings		16	
Cutting direction		Up-cut	
Coolant		Dry	

次にDLCとDIAを比較する。通常の $\beta=30^\circ$ では、切削初期ではDLCの切削抵抗が小さいが、切削回数が進むにつれて増加し、16パスではその値が逆転することがわかる。これは切削初期では、DLCの薄い膜厚(0.1~0.5 μm)によって切れ刃の鋭利さがDIAにくらべて顕著であることが起因している。しかしながら、比較的大きな切削抵抗によってDLC膜の摩耗が進行し、切削抵抗が増加してしまう。これに対し、膜厚が10 μm のDIAは初期切削抵抗が大きいが、ほとんど摩耗が進行しないため、ほぼ一定の切削抵抗となっている。

一方、強ねじれの $\beta=60^\circ$ をみると、切削抵抗自体が大きく低下するため、DLCの摩耗進行が抑制され、16passに至るまでDIAより低い切削抵抗値をとることがわかる。

4.2 切削合力角

図5に傾斜切削法の概略図を示す。図に示すように、送り分力 F_y と軸方向分力 F_z の合力 F と試料のなす角を切削合力角 θ_F と定義し、試料を θ_w だけ傾斜させ、試料に沿ってエンドミルを送る方法を傾斜切削としている(多軸加工機ではエンドミルを傾斜させることで容易に実現できる)。この傾斜切削によって毛羽立ちが大幅に抑制できることはすでに報告しているが¹²⁾、実用的には傾斜角が小さい方が望ましい。したがって、切削合力角を低減する加工条件を選定することが必要となる。

図6は切削回数と切削合力角の関係を示したものである。DLCは切削初期ではDIAより高い切削合力角をとるものの、切削回数が増加するにつれて減少している。一方、DIAはとるべき傾斜角が 30° と比較的大きいが、切削状態が安定しているため、常に一定の傾斜角度で毛羽立ちの抑制が可能と言える。

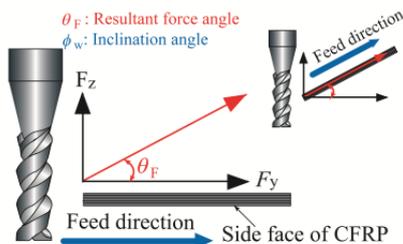


Fig.5 Resultant force vector angle θ_F with respect to the horizontal direction

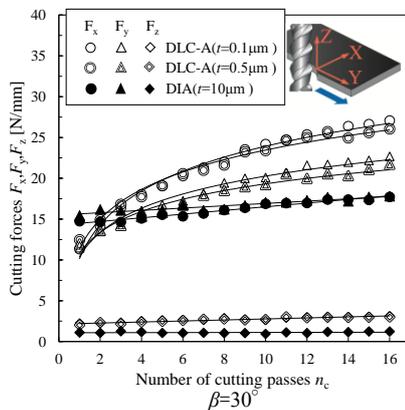


Fig.4 Variation of cutting forces with cutting passes

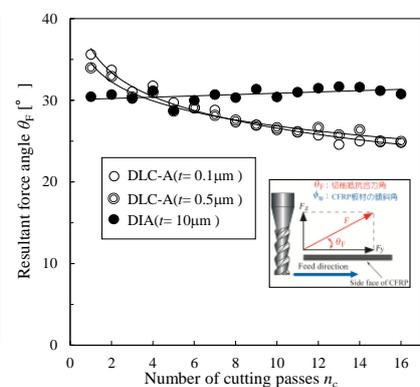
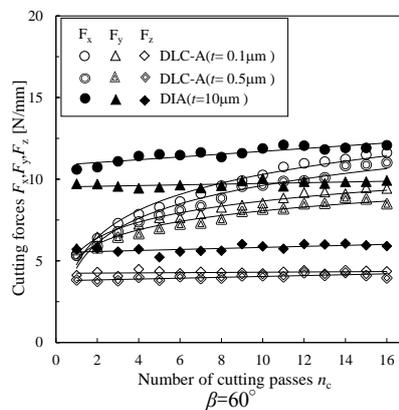


Fig.6 Variation of resultant force angle with cutting passes

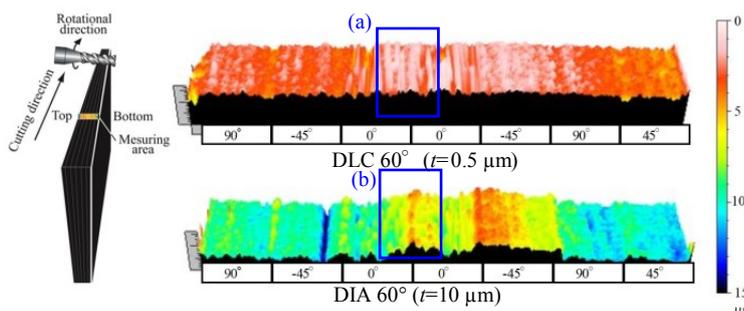


Fig.7 3D profiles and SEM images of the milled surface of CFRP

4.3 仕上げ面性状

図7に強ねじれエンドミルによる側面切削における3次元プロフィールとCFRP試料中央部($\theta=0^\circ$)のSEM写真を示す。SEM写真にみるように、DLC、DIAのどちらにおいても繊維の抜け落ちの少ない良好な加工面が得られていることが確認できる。また、層間段差も顕著に観察されない。

一方、3次元プロフィールをみると、DLCに比べてDIAでは層間段差が大きいことがわかる。また写真は省略するがDIAはDLCに比べて最上層における毛羽立ちの厚みが比較的大きいことも確認できた。これは、膜種の効果というよりも、むしろ膜厚の影響が出ているものと考えられる。

以上の結果より、DLC、DIA両コーティング工具とも強ねじれにこの効果が確認でき、今後は傾斜切削実験における膜種および膜厚の違いに応じた最適加工条件、すなわち傾斜角度を検討する必要がある。

5. 結言

- (1) ねじれ角 30° に対して、ねじれ角 60° のエンドミルは切削抵抗が小さく、工具摩耗の進行も遅い。
- (2) DLCはDIAに比べて切削抵抗の増加は大きい、強ねじれにおいて切削抵抗値は低くなる。
- (3) 強ねじれDLCコーティングエンドミルを用いることによって低傾斜角で傾斜切削を行うことが可能である。
- (4) DIAと比較してDLCでは繊維の脱落、層間段差、毛羽立ちの少ない良好な加工面が得られる。これは、膜種と同時に膜厚の影響が出たものと思われる。

謝辞

本研究に対し多大なご支援をいただいた東レ(株)複合材料研究所、DMG森精機(株)、住友電工ハードメタル(株)に感謝する。

参考文献

- (1) 稲葉俊文, 他: CFRPのエンドミル加工, 2012年度精密工学会秋季大会学術講演会講演論文集, (2012) 169.
- (2) Hosokawa A, Hirose N, Ueda T, Furumoto T, High-quality machining of CFRP with high helix end mill, CIRP, Vol.63 (2014) 89.